臺灣水稻田施肥與稻穀增產關係圖解 *

臺灣肥料有限公司技術室

黃　達　河

化學肥料每公斤可以增產幾公斤的稻穀？稻田每公頃應該施用幾公斤的肥料？

這是土壤肥料界同人所常遇到的兩個難題。

查化學肥料種類很多，主要有效成份 N, P_2O_5 或 K_2O 含量高低不同；單質肥料僅含一種，完全肥料則三種俱備。稻作品種不同，某一良好品種對各農作區域的適應程度亦不相同；灌溉情形和土壤的肥沃度對外加肥料的稻穀增產效應，亦有決定性的影響。有關因素衆多，欲求對上述兩大難題所提供答案簡單明瞭，直截了當，而又正確可靠，確是難事；但土壤肥料界同人仍須在可能範圍以內，提供合理解答。

本文將依次討論臺灣水稻田施用肥料要素數量，施肥稻田面積百分比，與稻穀增產，以及肥料價格，肥料成份，臨界和合理增產值等關係，內容並將較偏重於學理的研究，但所得結論容或有若干實用價值。這是解答上述兩個難題的另一種嘗試；可作爲前人經已提供有關資料的補充報導。

I　資　料　說　明

本文所用資料最主要部份爲臺灣省農業試驗所彙報第七號張守敬，曾憲鼎，步淼昇三氏合著之：『臺灣省水稻三要素適量試驗結果之檢討』文中表三所列第一、二兩期稻穀產量數字。此項試驗自民國19年起至民國31年止，先後在全省 118 處舉行；各試驗地點分佈情形如下：臺北28處，新竹22處，臺中和臺南各19處，高雄16處，花蓮及臺東各 7 處。各處試驗時間自一二年至三四年不等。

舉行此項試驗所用耕作方法，和各地農家所習用的相同。水稻品種，在新竹用在來種，餘皆用蓬萊種。試驗所用三要素肥料爲硫酸銨，過磷酸鈣和硫酸鉀。每公頃三要素施用量，N 共試用 4 級，即 40, 80, 120 及 160 公斤；P_2O_5 和 K_2O 各共試用 3 級，即 40, 80 及120公斤(2)。

II　施肥增產值及其增減有關因素

稻穀施肥增產數量可以無肥料區與三要素中量試驗區（每公頃用 N, P_2O_5 及 K_2O 各80公斤）產量的百分比表示之 (2)。在同一地點以內，或在地力差異很小區域，此百分比的高低可表示各種要素各種不同處理效應的大小。但此百分比本質上僅係相對數字，若各處地力高低不同，無肥料區或三要素中量區產量差異很大，則此百分比數字即不宜用作肥效比較標準。

施用肥料要素所能增產的稻穀數量却是一絕對數值；此數值表示某種肥料要素在某一地點的增產

---

* 中華農學會臺灣分會第二屆年會中宣讀。

本文蒙李玊清先生鼓勵寫作，先後並承張守敬，朱海帆、夏之驊、王世中、趙畯田諸先生惠予指正，謹此統誌謝忱。

稻穀功能，與無肥料區或三要素中量區產量差異無關，可用以比較各地施肥增產實效，並進一步預示何地施肥可獲厚利，何地施肥，却將虧本。此數值定名爲增產值，以每公斤 N, P_2O_5 或 K_2O 所能增產稻穀公斤數表示之。

從張曾步三氏所作報告 (2) 中表三所列數字，可計算臺灣 118 處水稻田稻穀施肥增產值。

增產值之計算，係指每公頃施用兩種肥料要素各80公斤時，施用另一要素若干公斤後，此要素每公斤可以增產稻穀公斤數；茲擧例說明計算方法如下：

以新竹桃園街爲例，如每公頃施用 P_2O_5 和 K_2O 各 80公斤，配用 N 40公斤 較不配用 N 時可增產稻穀614公斤，即平均 N 每公斤可增產稻穀 614/40＝15.4公斤。若配用 N 160 公斤，則所增產稻穀總額共 1,622公斤，平均 N 每公斤僅可增產稻穀 1,622/160＝10.1公斤。P_2O_5 或 K_2O 的稻穀增產值計算方法與此相同，即以每公頃施用其他二要素各80公斤時產量爲準，配用 P_2O_5 或 K_2O 後增收稻穀公斤數以所配用 P_2O_5 或 K_2O 公斤數均分之。

試驗地點總數爲 118；第一期作有試驗結果的佔 104 地點，第二期作有試驗結果的則佔 117 地點。(各地之增產值從略)。

從如此所得之數字，可查明各地水稻田施用肥料要素有無效應；如有效應，究有多大；並可比較各地點施肥效應高低。由初步觀察，可得一概括觀念，即臺灣各地水稻田施肥效應差異很大。

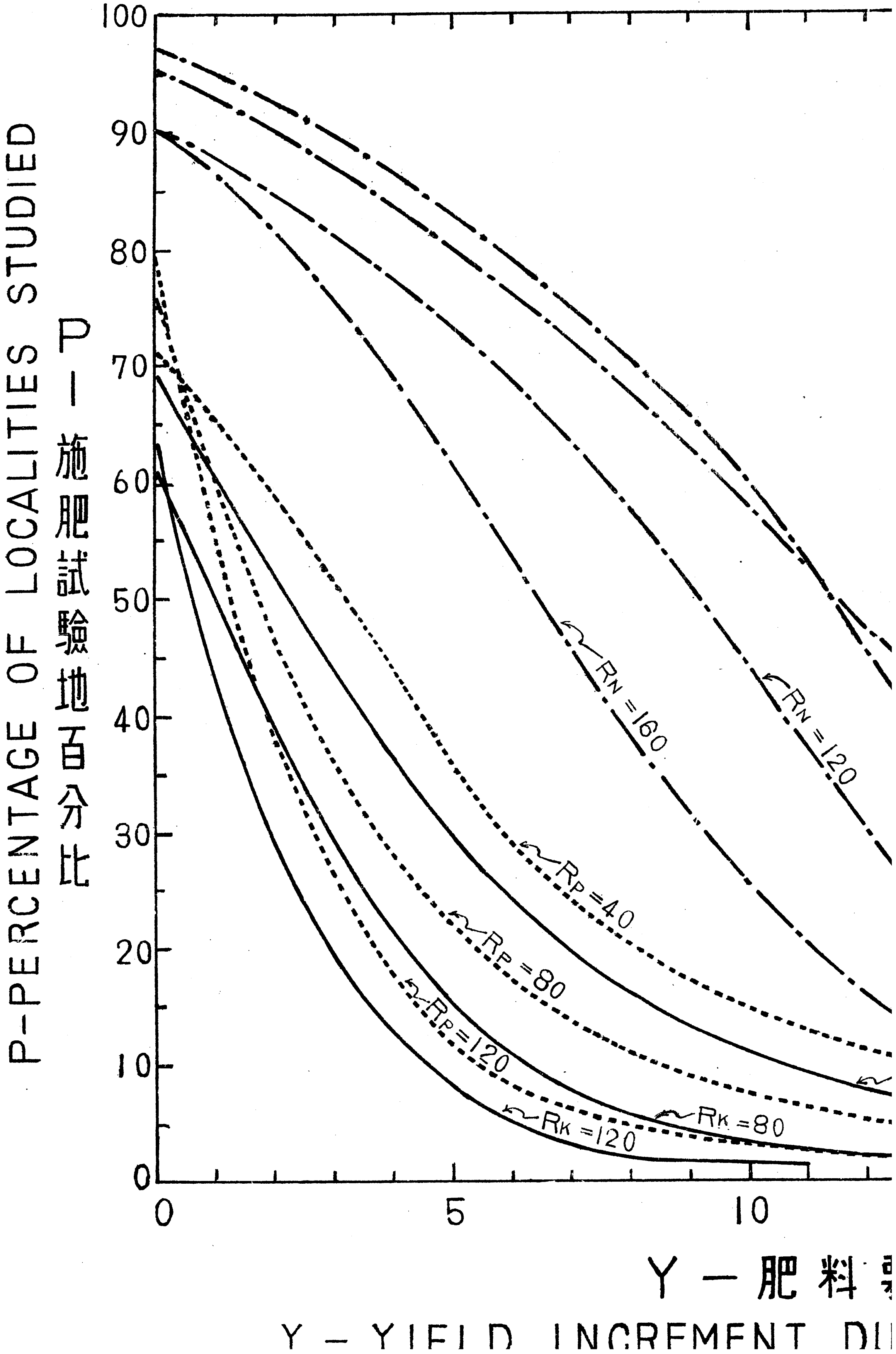
表一和表二將如前法計算所得各地第一、二兩期稻穀施肥增產值分爲26級，自0 至25，分別統計等

表 一 第一期稻穀施肥增產值分析表

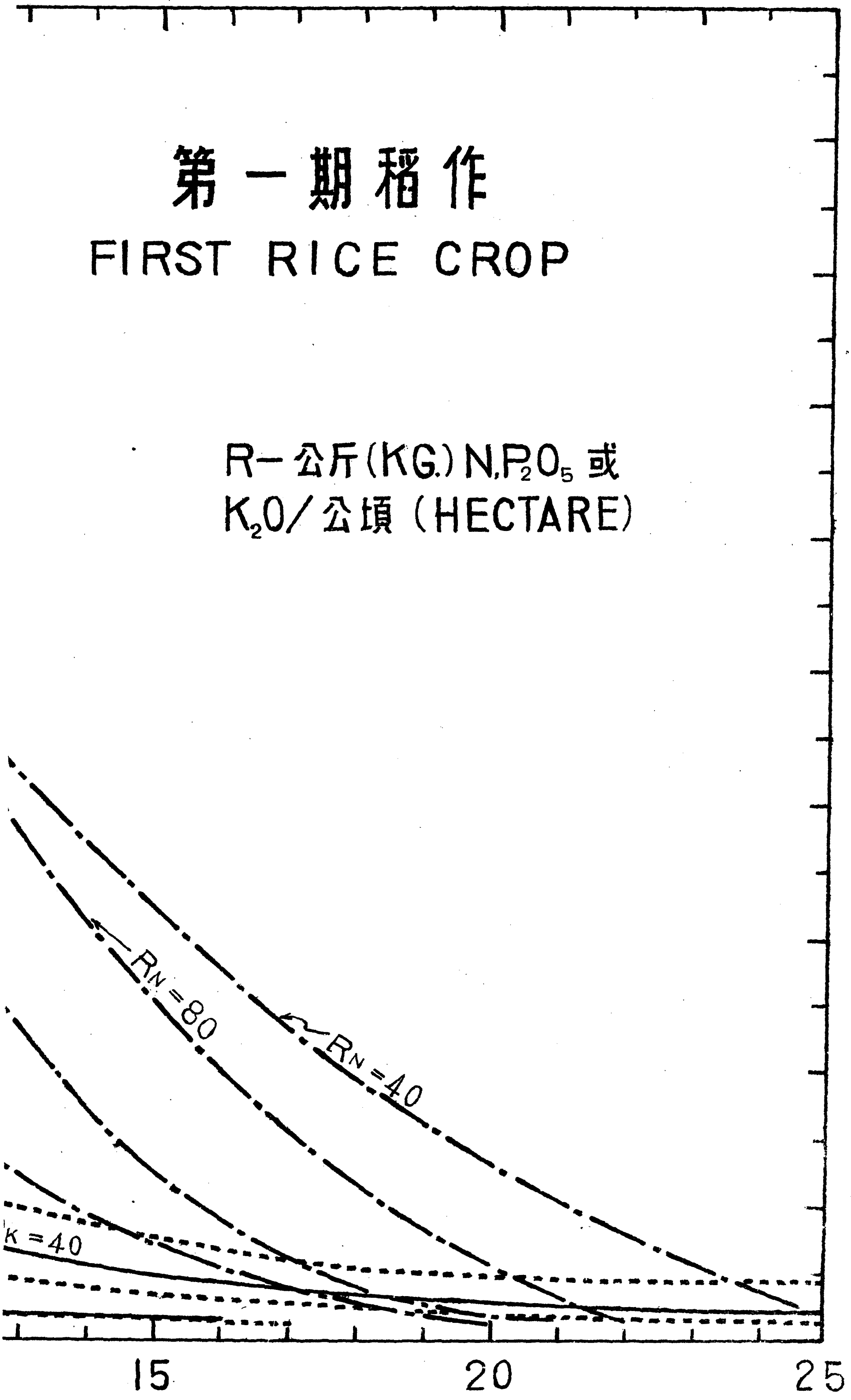
稻穀增產值≧	N 施用率（公斤/公頃）								P_2O_5 施用率（公斤/公頃）						K_2O 施用率（公斤/公頃）					
	40		80		120		160		40		80		120		40		80		120	
	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比
25	2	1.9	0	0	0	0	0	0	4	3.8	1	1.0	0	0	1	1.0	0	0	0	0
24	3	2.9	0	0	0	0	0	0	5	4.8	1	1.0	0	0	1	1.0	0	0	0	0
23	6	5.8	0	0	0	0	0	0	5	4.8	1	1.0	0	0	1	1.0	0	0	0	0
22	7	6.7	2	1.9	0	0	0	0	5	4.8	1	1.0	0	0	1	1.0	0	0	0	0
21	12	11.6	2	1.9	2	1.9	0	0	5	4.8	1	1.0	0	0	2	1.9	0	0	0	0
20	15	14.4	5	4.8	2	1.9	1	1.0	5	4.8	2	1.9	0	0	2	1.9	0	0	0	0
19	17	16.4	8	7.7	2	1.9	3	2.9	5	4.8	2	1.9	0	0	2	1.9	0	0	0	0
18	20	19.2	13	12.5	5	4.8	4	3.8	5	4.8	3	2.9	0	0	3	2,9	0	0	0	0
17	24	23.1	16	15.4	7	6.7	6	5.8	5	4.8	4	3.8	1	1.0	5	4,8	0	0	0	0
16	29	27.9	25	24.1	9	8.7	8	7.7	6	5.8	4	3.8	1	1.0	5	4.8	1	1.0	0	0
15	34	32.7	28	27.0	12	11.6	10	9.6	8	7.7	4	3.8	1	1.0	5	4.8	1	1.0	0	0
14	40	39.5	29	28.0	18	17.3	10	9.6	9	8.6	5	4.8	1	1.0	5	4.8	1	1.0	0	0
13	43	41.4	39	37.5	25	24.0	10	9.6	10	9.6	5	4.8	1	1.0	6	5.8	2	1.9	0	0
12	48	46.2	45	43.3	33	31.7	15	14.4	12	11.6	5	4.8	1	1.0	7	6.7	2	1.9	0	0
11	54	52.0	50	48.1	39	37.5	23	22.1	13	12.5	6	5.8	3	2.9	10	9.6	3	2.9	1	1.0
10	61	58.8	62	59.8	45	43.3	28	27,0	15	14.4	7	6.7	4	3.8	11	10.6	4	3.8	1	1.0
9	68	65.4	68	65.4	50	48.0	33	31.7	15	14.4	10	9.6	4	3.8	13	12.5	4	3.8	1	1.0
8	70	67.4	73	70.2	62	59.7	38	36.5	21	20.2	11	10.6	5	4,8	15	14.4	6	5.8	3	2.9
7	75	72.1	80	77.0	69	66.3	48	46.2	24	23.0	12	11.6	6	5.8	22	21.1	9	8.6	5	4.8
6	78	75.0	82	79.0	72	69.1	55	53.0	29	27.9	18	17.3	9	8.6	27	26.0	12	11.6	6	5.8
5	84	81.0	86	82.9	77	74.0	63	60,8	37	35.5	23	22.1	11	10.6	34	32.5	17	16.4	7	6.7
4	87	83.8	89	85.8	79	76.0	72	69.1	44	42.3	28	27.0	17	16.4	39	37.5	20	19.2	11	10.6
3	89	85.8	91	87.8	85	81.9	80	77.0	55	53.0	37	35.5	26	25.0	45	43.3	31	29.9	23	22.1
2	93	89.5	96	92.4	87	83.8	85	81.9	59	56,9	49	47.1	42	40.4	56	53.9	41	39.5	33	31.7
1	95	91.3	98	94.2	93	89.5	91	87.8	66	63.4	65	62.4	61	58.8	61	58,8	51	49.0	40	39.5
0	99	95.1	101	97.1	94	90.5	94	90.5	74	71.1	79	76.0	83	79.9	72	69.1	63	60.5	66	63.4

有數據試驗地點總數＝104

圖一 臺灣第一期稻作肥料要素施用率與



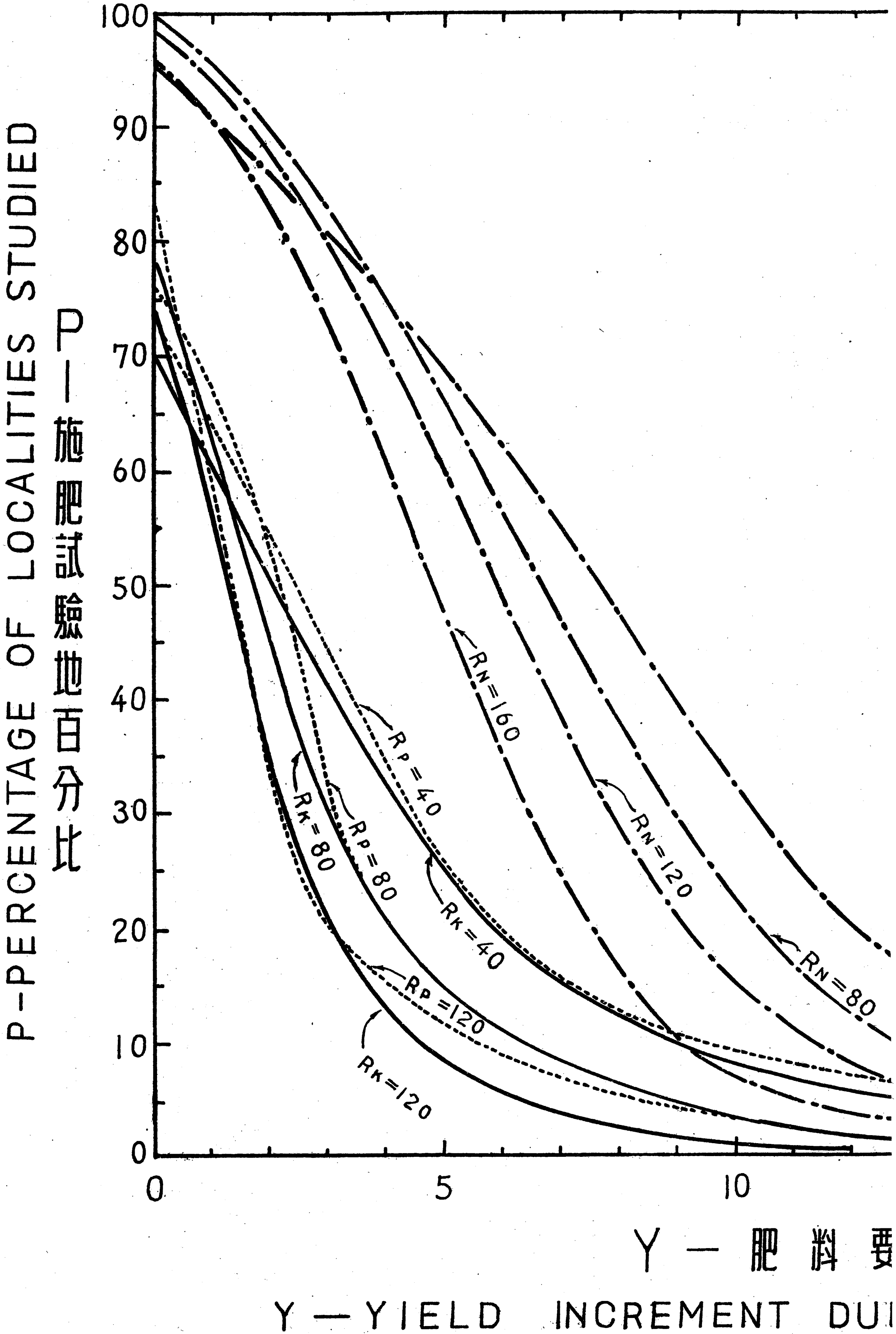
稻穀增產值及試驗地百分比関係圖



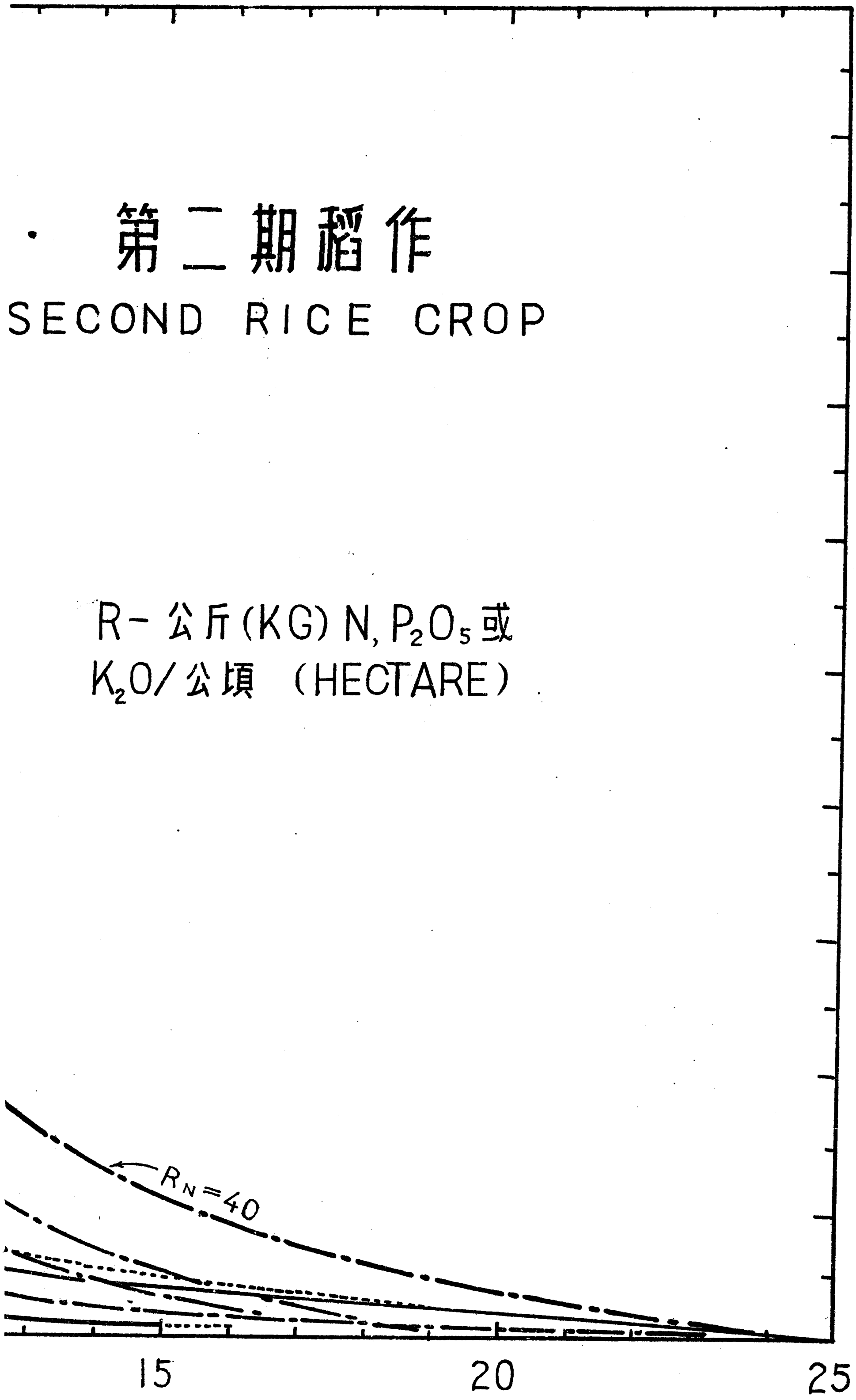
素增產值

TO ADDED PLANT FOOD

圖二 臺灣第二期稻作肥料要素施用率別



稻穀增產值及試驗地百分比關係圖



素增產值

E TO ADDED PLANT FOOD

表 二　　第二期稻穀施肥增產值分析表

稻穀增產值≧	N 施用率（公斤/公頃）								P_2O_5 施用率（公斤/公頃）						K_2O 施用率（公斤/公頃）					
	40		30		120		160		40		80		120		40		80		120	
	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比	試驗地點數	百分比
25	1	0.9	0	0	1	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.9	0	0	0	0
24	1	0.9	0	0	1	0.9	0	0	1	0.9	0	0	0	0	1	0.9	0	0	0	0
23	1	0.9	0	0	1	0.9	0	0	1	0.9	0	0	0	0	2	1.7	0	0	0	0
22	2	1.7	0	0	1	0.9	0	0	1	0.9	0	0	0	0	2	1.7	0	0	0	0
21	3	2.6	0	0	1	0.9	0	0	1	0.9	0	0	0	0	2	1.7	0	0	0	0
20	4	3.4	1	0.9	2	1.7	0	0	1	0.9	0	0	0	0	2	1.7	0	0	0	0
19	5	4,3	1	0.9	2	1.7	1	0.9	2	1.7	0	0	0	0	2	1.7	0	0	0	0
18	6	5.1	2	1.7	3	2·6	1	0.9	4	3.4	0	0	0	0	2	1.7	0	0	0	0
17	8	6.8	2	1.7	3	2.6	2	1.7	5	4.3	0	0	0	0	3	2.6	0	0	0	0
16	11	9.4	3	2.6	3	2.6	3	2.6	5	4.3	1	0.9	1	0.9	3	2.6	0	0	0	0
15	12	10.2	5	4.3	3	2.6	3	2.6	6	5.1	1	0.9	1	0.9	4	3.4	1	0.9	0	0
14	16	13.7	6	5.1	3	2.6	3	2.6	6	5.1	2	1.7	1	0.9	5	4.3	1	0.9	0	0
13	20	17.1	8	6.8	7	6.0	3	2.6	8	6.8	3	2.6	2	1.7	7	6.0	1	0.9	0	0
12	22	18.8	15	12.8	10	8.6	4	3.4	8	6.8	3	2.6	2	1.7	7	6.0	1	0.9	1	0.9
11	28	24.0	18	15.4	13	11.1	6	5.1	10	8.6	3	2.6	2	1.7	8	6.8	2	1.7	1	0.9
10	35	30.0	29	24.8	16	13.7	8	6.8	10	8.6	4	3.4	2	1.7	10	8.6	2	1.7	1	0.9
9	46	39.4	37	31.6	24	20.5	12	10.2	13	11.1	4	3.4	4	3.4	12	10.2	5	4.3	2	1.7
8	56	47.9	42	36.0	32	27.4	19	16.2	15	12.8	6	5.1	7	6.0	14	12.0	8	6.8	3	2.6
7	63	53.9	54	46.1	42	36.0	28	24.0	19	16.2	9	7.7	9	7.7	18	15.4	10	8.6	4	3.4
6	72	61.6	64	54.9	57	48.7	43	36.7	22	18.8	12	10.2	11	9·4	24	20.5	11	9.4	7	6.0
5	80	68.3	76	65.0	70	59.9	54	46.1	28	24.0	17	14.6	15	12.8	28	24.0	16	13.7	9	7.7
4	91	77.9	88	75.1	83	71.0	69	59.0	43	36.7	24	20.5	17	14.6	36	30.7	22	18.8	14	12.0
3	95	81.1	96	82.0	93	79.5	84	72.0	56	47.9	36	30.8	22	18.8	50	42.7	34	29.0	23	19.7
2	99	84.8	109	93.1	103	88.0	97	83.0	61	52.0	61	52.0	38	32.5	56	47.9	53	45.4	41	35.0
1	106	90.8	111	95.0	109	93.1	107	91.5	73	62.3	79	67.5	70	59.9	69	59.0	74	63.1	68	58.0
0	111	95.0	114	97.5	111	95.0	110	94.0	86	73.5	89	76.0	97	83.0	81	69.1	92	78.7	87	74.4

有數據試驗地點總數＝117

於及大於各級增產值的試驗地點數目以及此數佔有數據試驗地點總數的百分比。級數越低，則試驗地點總數中增產值等於及大於此低級標準的地點數目百分比越大；這是一種自然趨勢。從表一表二數字，並可見臺灣水稻田中施用肥料要素有減低稻穀產量的可能；此可能性施 N 時很小，施 P_2O_5 或 K_2O 時較大。

用表一表二所列數字，以肥料要素增產值爲橫座標，以增產值等於或在此數以上的施肥試驗地百分比爲縱座標，通過各點，或通過最接近大多數點處，可繪成若干光滑曲線如圖（圖一，圖二）。

從圖一圖二，關於臺灣水稻田施肥增產情形，可得下列各概念：

1. 以第一期作言，N 的增產效應最大，P_2O_5 的比較的小得多，K_2O 的更小。
2. 第二期作增產效應亦以 N 爲最大，但不及第一期作；P_2O_5 和 K_2O 的效應十分接近，但一般說來，都比不上同期 N 的效應，亦不及第一期 P_2O_5 的效應。第一、二兩期 K_2O 效應差異甚小。
3. 試驗地點並不因施用肥料要素而全部增產，換句話說，施用肥料要素有減產可能：此現象上

文曾述及。

已圖一及圖二可另予適當處理，改繪爲圖三及圖四。

圖三圖四除可加强從圖一圖二所得概念外，並更明顯的表示三要素對第一、二兩期稻作增產效應的差異，此差異可從表三所列數字得到充份的證明。

表 三　第一、二期稻作肥料要素增產效應表

百分之50的水稻田試驗地的最低稻穀增產值，*(公斤/公斤)要素

要　素	每公頃用量(公斤)	第一期作	第二期作
N	40	11.5	7.7
	80	11.4	6.6
	120	9.2	5.9
	160	6.5	4.8
P_2O_5	40	3.3	2.5
	80	1.7	2.2
	120	1.3	1.3
K_2O	40	2.3	2.1
	80	1.0	1.8
	120	0.7	1.3

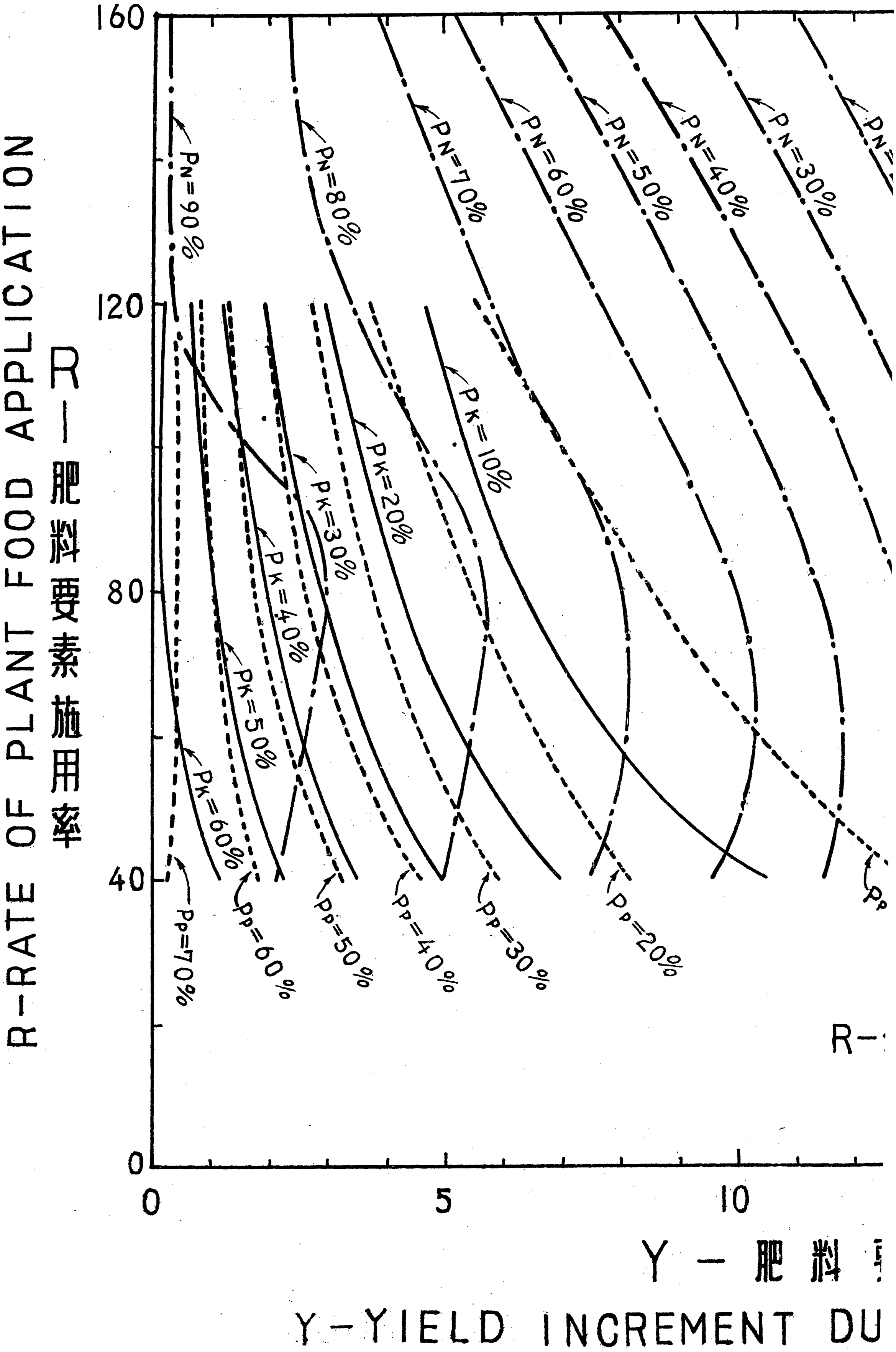
* 從圖三圖四 P＝50%曲線求得。

第一、二期稻作大多數試驗地點每公頃N施用量由40公斤改爲80公斤時，增產值(公斤稻穀/公斤要素)皆有昇高現象。查試驗施N時，每公頃皆已加足 P_2O_5 和 K_2O 各80公斤，因此，或已發生 P_3O_5 及 K_2O 使用過量 (Overdose) 象徵，初用40公斤的 N, 一部份或須用以抵消此使用過量的不良影響(6)；再度加N 40公斤時，才開始發生增產作用。這是一種可能的解釋；此解釋與圖中所表示 P_2O_5 和 K_2O 增產效應不大，和上文所指出施用 P_2O_5 或 K_2O 有減產可能情形似頗相符，但似與實際經驗不合。另一可能解釋爲施N增產值較大時，試驗誤差影響較小；施N增產值較小時，試驗結果的差異則皆在試驗誤差範圍以內。第一、二兩期施 P_2O_5 或 K_2O 增產值很小時，要素施用率不同的試驗地百分比——增產值曲線（圖一，圖二）亦皆有交錯現象；此現象可作爲後一說明的佐證。據張守敬先生稱，該項試驗設計簡單，各地試驗年數不同，(見上文)，臺灣地力差異又大，故各地試驗結果準確程度可能亦有很大的出入。且每一試驗的數據不完全，不能作生物統計的分析以估計其試驗之誤差。二種處理間 5%以下甚至 5%以上的產量差異，可能均屬誤差而非眞正之差異。因此，上述不正常現象，如以試驗誤差解釋之，似較合理。

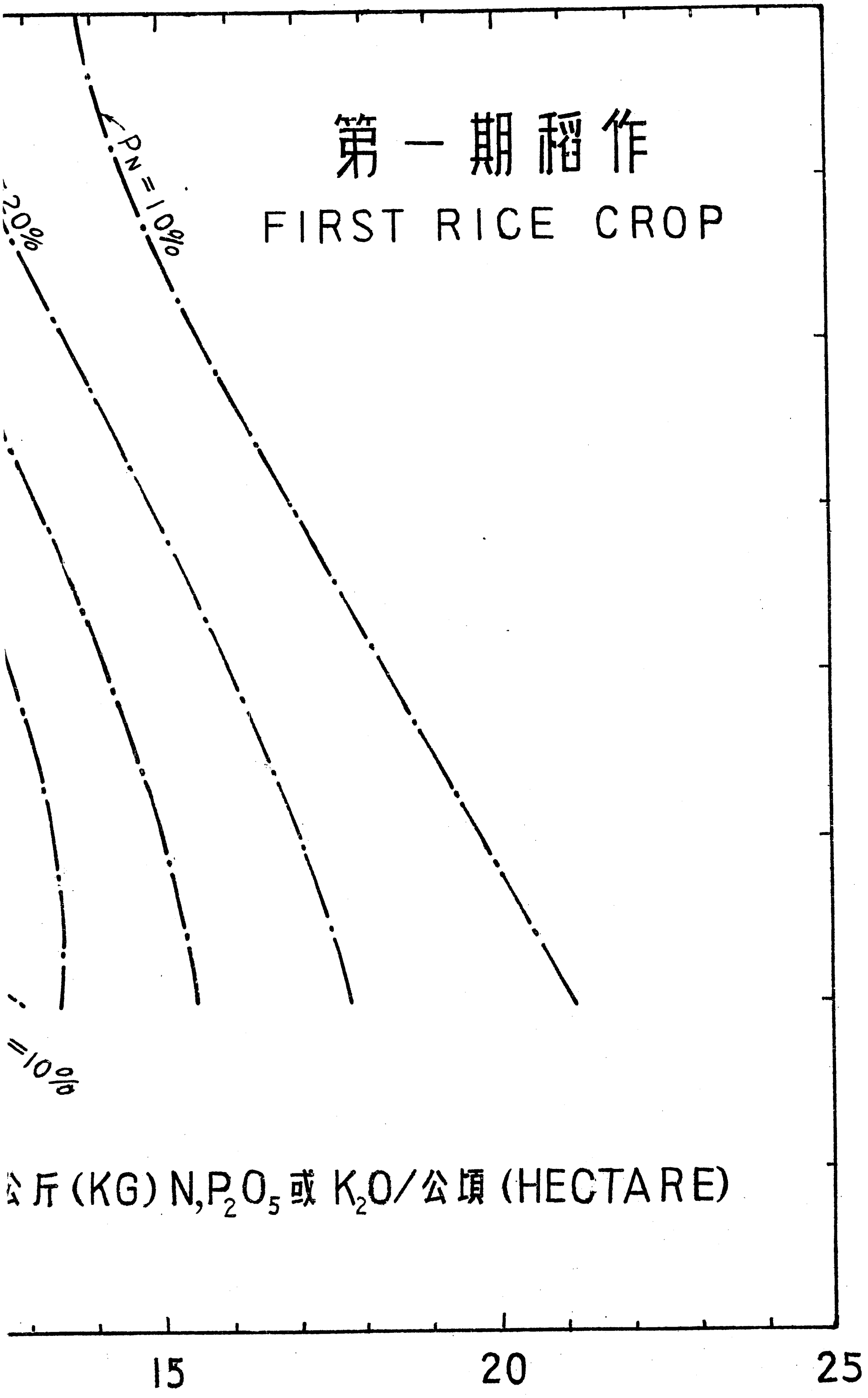
從圖三圖四可估計：

1. 水稻田普遍施用等量的 N, P_2O_5 或 K_2O 時，地點百分比和要素最低增產值的關係；增產值越大，可得此增產值地點所佔百分比越小。
2. 要素最低增產值不變時，要素施用率和地點百分比的關係；要素施用率越大，可得此增產值

圖三 臺湾第一期稻作肥料要素施用率與稻



稻穀增産值及試驗地白分比関係圖

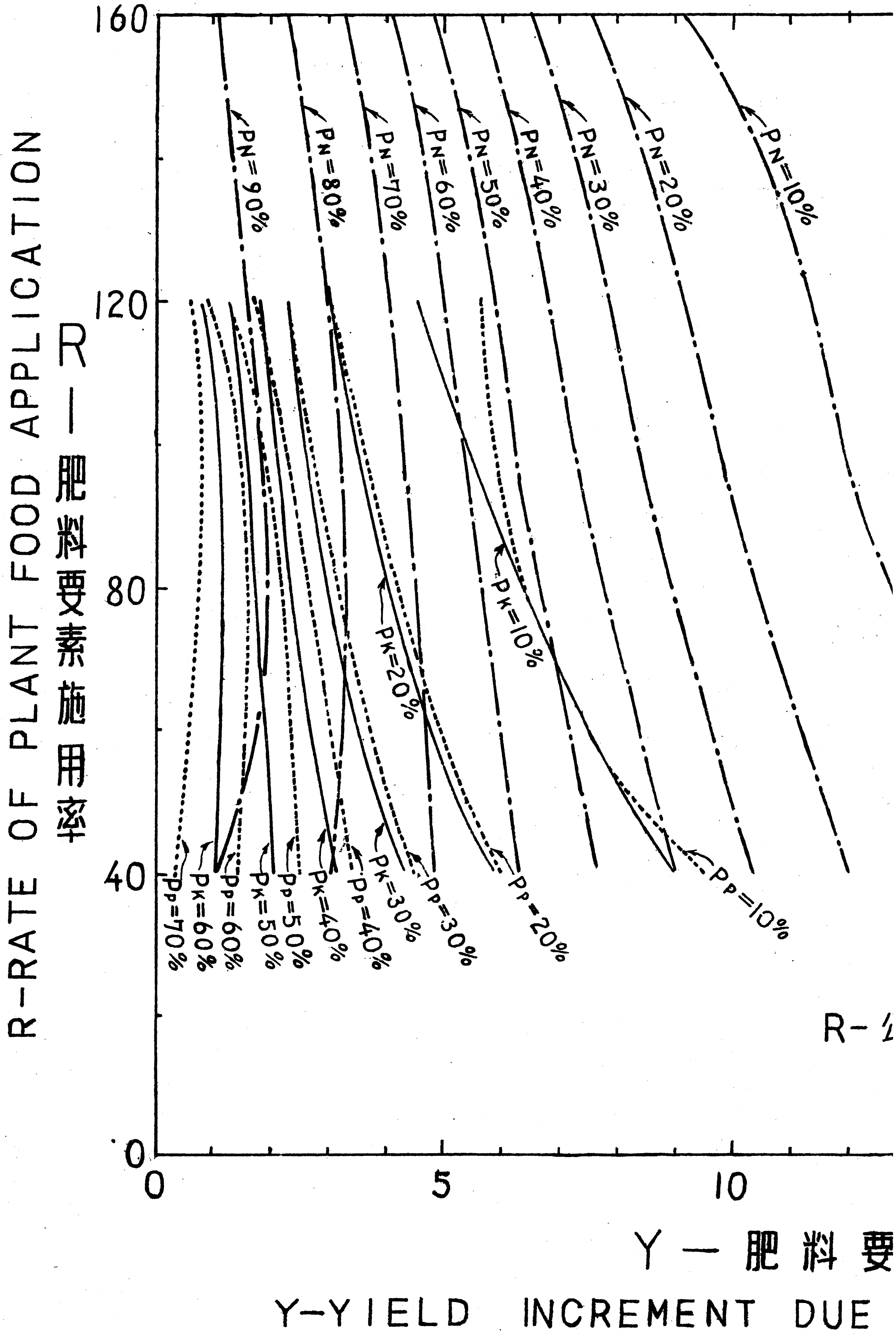


公斤(KG) N, P_2O_5 或 K_2O/公頃 (HECTARE)

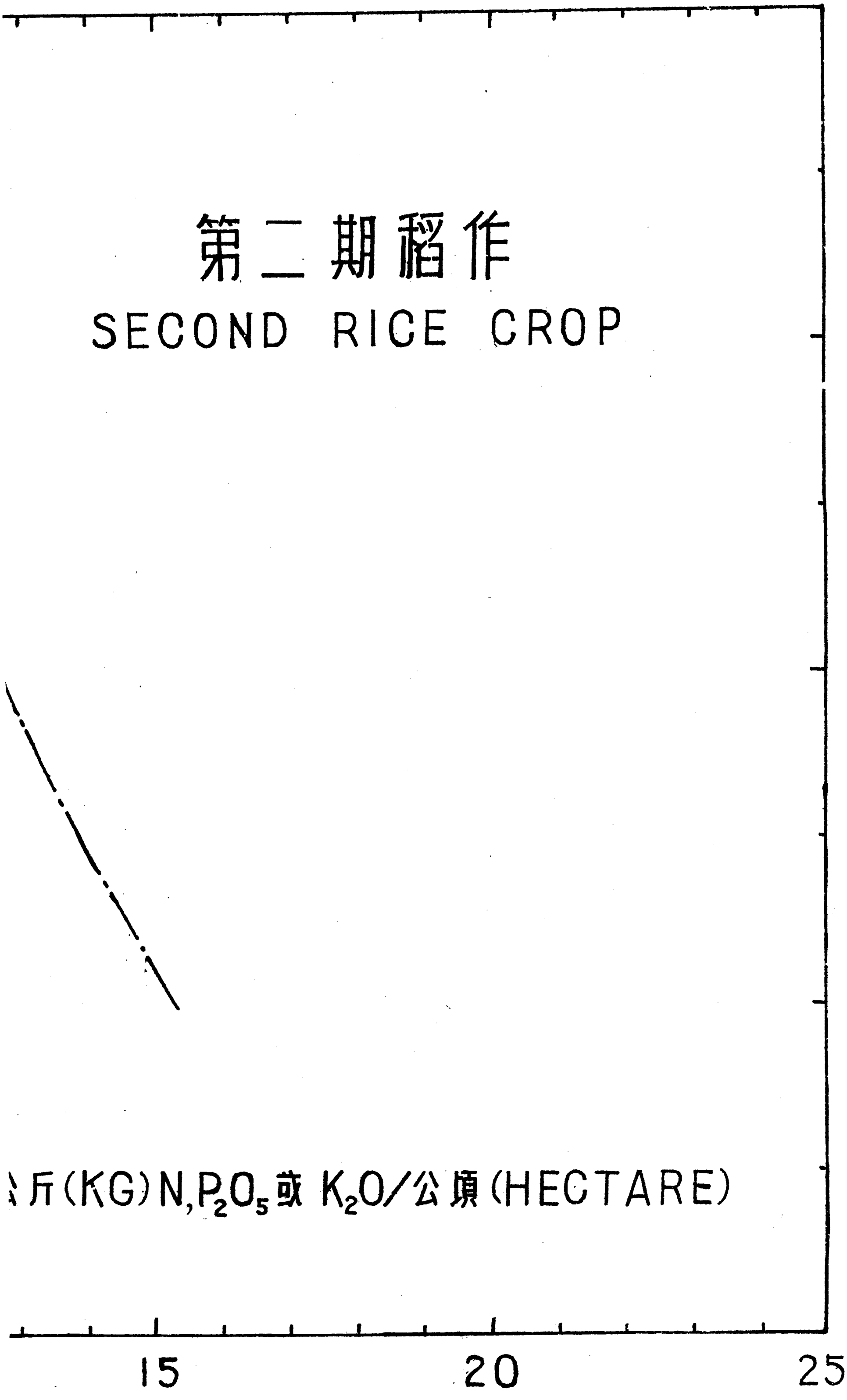
素增産值

E TO ADDED PLANT FOOD

圖四 臺湾第二期稻作肥料要素施用率與



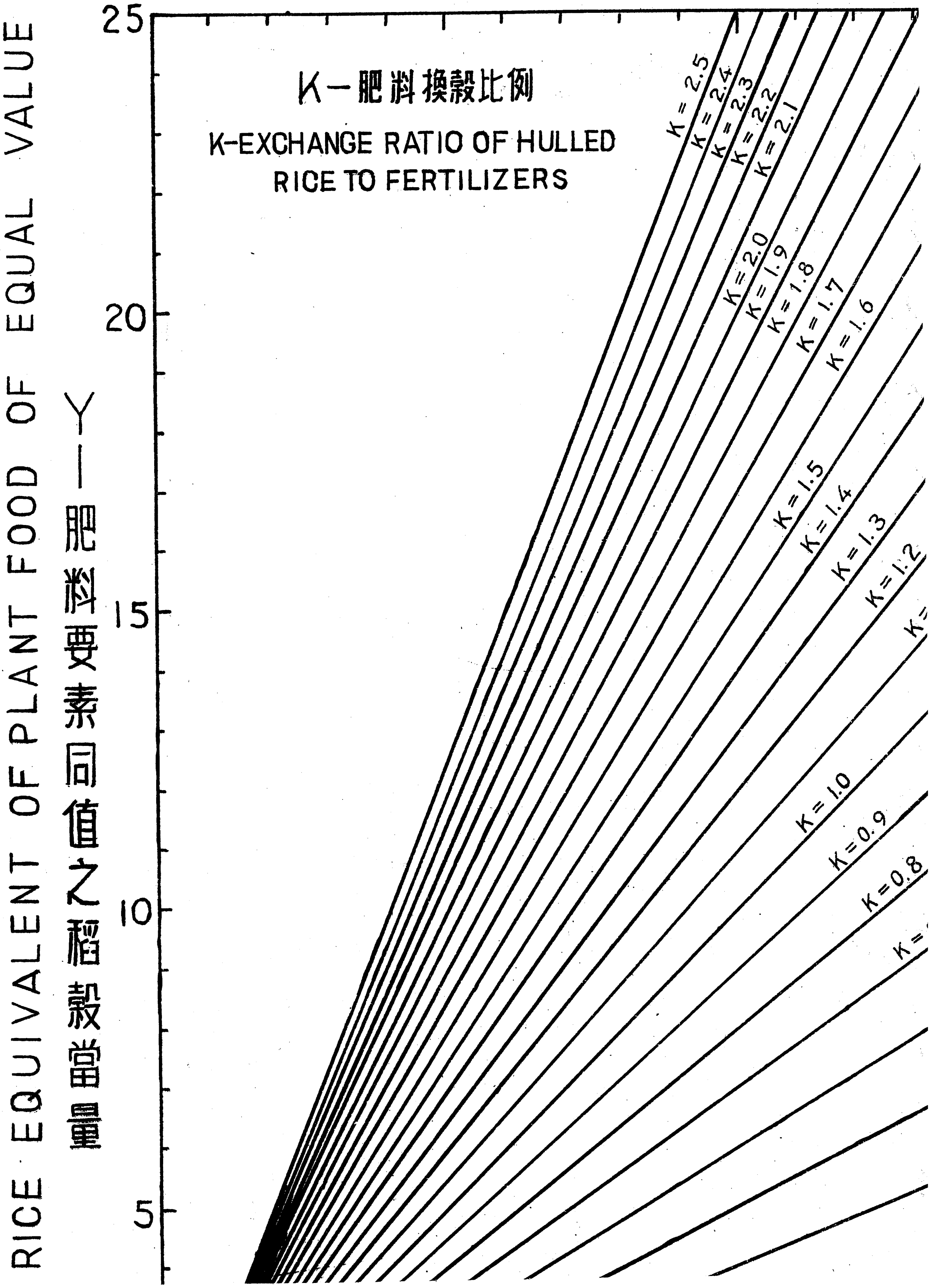
撒增産值及試驗地自力比關係圖



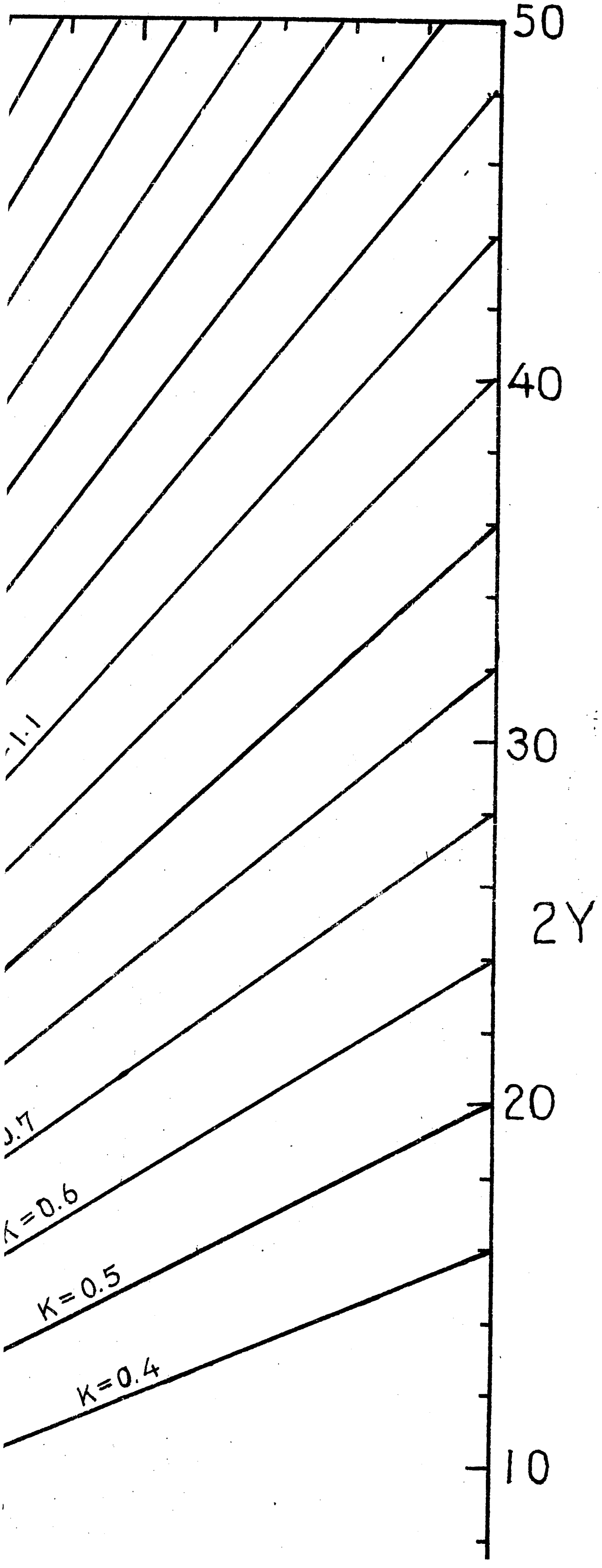
素增産值

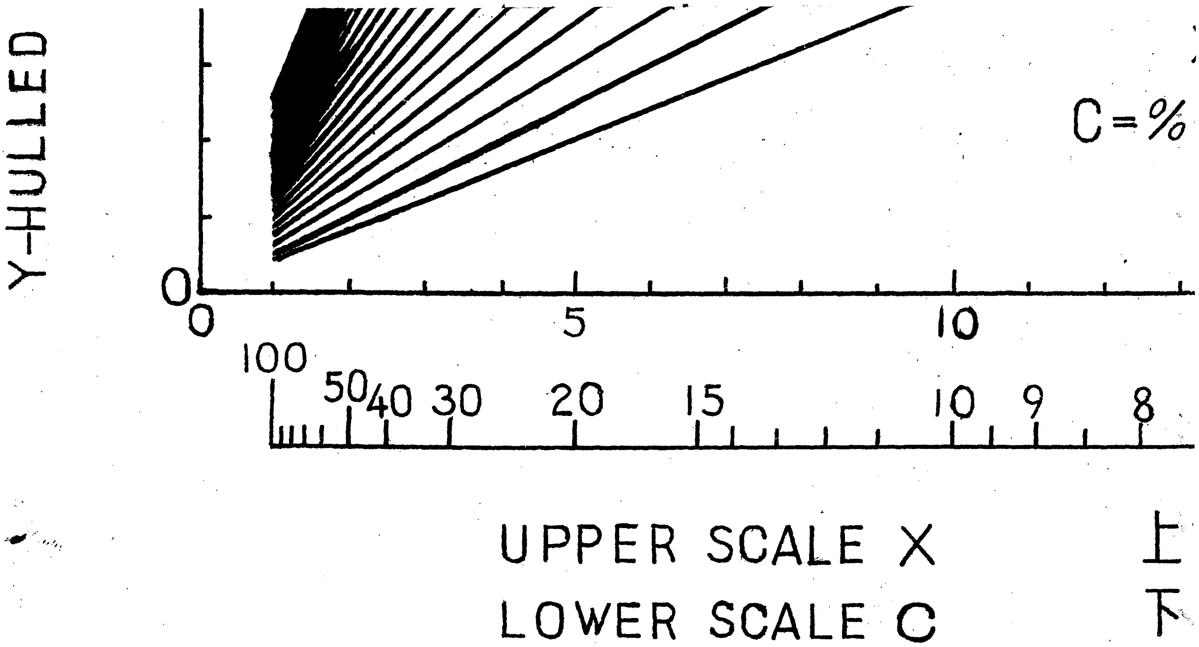
TO ADDED PLANT FOOD

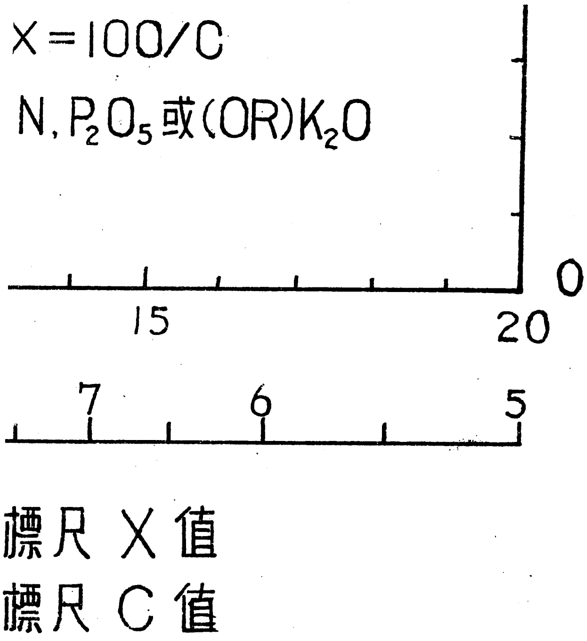
圖五 肥料成本與成份及要素稻穀



當量関係圖




Y-HULLED
C=%
0
0
5
10
100
50
40
30
20
15
10
9
8
UPPER SCALE X
LOWER SCALE C
上
下


X=100/C
N, P2O5 或(OR)K2O
0
15
20
7
6
5
標尺 X 值
標尺 C 值

地點所佔百分比越小；最低增產值減至某一限度時，此差異卽不顯著。N 施用率自40增至80公斤/公頃時，有一似不正常現象，此現象可能解釋上文已曾述及。

3. 地點百分比不變時要素施用率和要素增產值的關係；要素施用率越大，要素增產值越小，這裏亦有一相同的似不正常現象。地點百分比增至某一限度時，要素增產值差異亦漸不顯著。

總括說來，圖中曲線所代表的是三個未知數——肥料要素施用率，肥料要素的稻穀增產值和地點所佔百分比——的關係；從兩個已知數可以推出第三個未知數的大約值。

Ⅲ 臨界及合理增產值

農家購用化學肥料，必須支付適當代價。支付方式可用現金，亦可用實物交換。不論支付方式如何，所購用化學肥料成本，皆可以等值農產品(如稻穀)數量計算之。査一般農家購用化學肥料目的僅在利用所含肥料要素，故肥料成本如以和肥料要素同值的農產品當量計算，當更合理。

肥料同值的稻穀數量與肥料所含要素數量及肥料要素同值的稻穀當量關係可以下式表示之：

$$\frac{K}{C} \times 100 = Y \cdots\cdots\cdots\cdots 1$$

令：

$$X = 100/C \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots 2$$

上式可改寫爲：

$$Y = KX \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots 3$$

K ＝肥料同值的稻穀數量或肥料換穀比例。

C ＝肥料所含 N, P_2O_5 或 K_2O 百分比。

Y ＝和每公斤肥料要素同值的稻穀公斤數。

第 3 式表示 K 值不變時 Y 與 X 成正比；第 1 式則表示 C 爲100時，Y 等於 K。上式中，Y, X, 和 K 的關係，可算成明細數字如表四，亦可用曲線表示之(見圖五)。

圖五中横座標 ×(＝100/C) 下横標尺刻度表示 C 值，由肥料換穀比例或和每公斤肥料同值的稻穀公斤數 K, 和肥料成份 C, 可査悉和每公斤肥料要素同值的稻穀公斤數 Y。此 Y 值表示肥料要素成本，農家必須在任何情形之下設法收回這筆成本，應可視爲農家施用肥料要素的臨界的 (Critical) 稻穀增產值，換句話說，某地農家所能得到的增產效應如低於此值，肥料就用不得了。

査農家施肥目的不在提高土壤中肥料要素含量，而在增加生產，博取利潤，可見收回成本的可能性和農家施肥的最後目標間還有相當的距離；且田間人力不能控制因素太多，僅靠肥料功能不能保證所支付代價一定可以收回，因此，最低預期增產值如爲成本的二倍，可較合理；能如此，農家施肥利潤，才有比較可靠保障(3, 5)。換言之，肥料要素最低的合理稻穀增產值應爲臨界稻穀增產值 Y 的二倍 (＝2Y)。從圖五，可直接求得 2Y 數值。

反過來說，利用圖五曲線，從合理的或臨界的稻穀增產值，可求知某種成份肥料的合理換穀比例，或換穀比例不變時肥料成份最低值。(圖五曲線和表五數字可以配合應用)

表四　肥料要素之稻

表中數字表示肥料要素同值之稻穀當量

和每公斤肥料價值相等的稻穀重量—公斤 (肥料換穀比例)	化學肥料 10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
0.4	4.0	3.6	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
0.5	5.0	4.6	4.2	3.8	3.6	3.3	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8
0.6	6.0	5.5	5.0	4.6	4.3	4.0	3.8	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
0.7	7.0	6.4	5.8	5.4	5.0	4.7	4.4	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5
0.8	8.0	7.3	6.7	6.2	5.7	5.3	5.0	4.7	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9
0.9	9.0	8.2	7.5	6.9	6.4	6.0	5.6	5.3	5.0	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.8	3.6	3.5	3.3	3.2
1.0	10.0	9.1	8.3	7.7	7.2	6.7	6.2	5.9	5.6	5.3	5.0	4.8	4.5	4.3	4.2	4.0	3.8	3.7	3.6
1.1	11.0	10.0	9.2	8.5	7.9	7.3	6.9	6.5	6.1	5.8	5.5	5.3	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.1	3.9
1.2	12.0	10.9	10.0	9.2	8.6	8.0	7.5	7.1	6.7	6.3	6.0	5.7	5.4	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.3
1.3	13.0	11.8	10.6	10.0	9.3	8.7	8.1	7.6	7.2	6.8	6.5	6.2	5.9	5.6	5.4	5.2	5.0	4.8	4.6
1.4	14.0	12.8	11.7	10.8	10.0	9.3	8.7	8.2	7.8	7.4	7.0	6.7	6.4	6.1	5.8	5.6	5.4	5.2	5.0
1.5	15.0	13.6	12.5	11.5	10.7	10.0	9.4	8.8	8.3	7.9	7.5	7.1	6.8	6.5	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4
1.6	16.0	14.6	13.3	12.3	11.4	10.7	10.0	9.4	8.9	8.4	8.0	7.6	7.3	7.0	6.7	6.4	6.2	5.9	5.7
1.7	17.0	15.4	14.2	13.1	12.1	11.3	10.6	10.0	9.4	8.9	8.5	8.1	7.7	7.4	7.1	6.8	6.5	6.3	6.1
1.8	18.0	16.4	15.0	13.8	12.9	12.0	11.3	10.6	10.0	9.5	9.0	8.6	8.2	7.8	7.5	7.2	6.9	6.7	6.4
1.9	19.0	17.2	15.8	14.6	13.6	12.7	11.9	11.2	10.6	10.0	9.5	9.0	8.6	8.3	7.9	7.6	7.3	7.0	6.8
2.0	20.2	18.2	16.7	15.4	14.3	13.4	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0	9.5	9.1	8.7	8.3	8.0	7.7	7.4	7.1
2.1	21.0	19.1	17.5	16.2	15.0	14.0	13.1	12.3	11.7	11.1	10.5	10.0	9.5	9.1	8.8	8.4	8.1	7.8	7.5
2.2	22.0	20.0	18.3	16.9	15.7	14.7	13.7	12.9	12.2	11.6	11.0	10.5	10.0	9.6	9.2	8.8	8.5	8.2	7.8
2.3	23.0	21.0	19.2	17.7	16.4	15.3	14.4	13.5	12.8	12.1	11.5	11.0	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.5	8.2
2.4	24.0	21.9	20.0	18.5	17.1	16.0	15.0	14.1	13.1	12.6	12.0	11.4	10.9	10.4	10.0	9.6	9.2	8.9	8.6
2.5	25.0	22.7	20.8	19.2	17.9	16.7	15.6	14.7	13.9	13.2	12.5	11.9	11.4	10.9	10.4	10.0	9.6	9.3	8.9

Ⅲ 圖解應用實例

例一

問：根據臺灣歷年肥料和稻穀價格關係或肥料換穀比例，在有利條件之下，有若干水稻田可以施用化學肥料？每公頃可用肥料要素若干公斤？

解：表五分列臺灣歷年肥料和稻穀價格或肥料換穀比例有關數字，假定蓬萊種稻穀可代表全省稻穀一般習性，從表五和圖五可求得：

1. 肥料要素臨界增產值，即農家施用肥料要素每公斤必須收回的稻穀公斤數。
2. 肥料要素合理增產值，即在博取合理利潤條件之下，農家施用肥料要素每公斤宜可預期的增產稻穀公斤數。

從此數值，由圖一-圖二曲線可求得每公頃施用肥料要素40公斤和80公斤時，根據上述 118 處水稻田肥效試驗結果，有多少水稻田的稻穀增產值等於或在此數值以上。

穀增產值檢索表

（臨界的稻穀增產值） 單位：公斤稻穀/公斤 N, P_2O_5 或 K_2O

成份，% N, P_2O_5 或 K_2O

29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4
2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6
3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8
3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0
3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2
4.1	4.0	3.9	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4
4.5	4.3	4.2	4.1	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6
4.8	4.7	4.5	4.4	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8
5.2	5.0	4.8	4.7	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0
5.5	5.3	5.2	5.0	4.8	4.7	4.6	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2
5.9	5.7	5.5	5.3	5.2	5.0	4.9	4.7	4.6	4.5	4.4	4.2	4.1	4.0	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4
6.2	6.0	5.8	5.6	5.5	5.3	5.1	5.0	4.9	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6
6.6	6.3	6.1	5.9	5.8	5.6	5.4	5.3	5.1	5.0	4.9	4.8	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	4.0	3.9	3.8
6.9	6.7	6.4	6.2	6.1	5.9	5.7	5.6	5.4	5.3	5.1	5.0	4.9	4.8	4.6	4.5	4.4	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0
7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.7	5.5	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2
7.6	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.8	5.6	5.5	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4
8.0	7.7	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.9	5.8	5.6	5.5	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6
8.3	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.2	6.0	5.8	5.7	5.6	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8
8.6	8.3	8.1	7.8	7.6	7.4	7.1	6.9	6.8	6.6	6.4	6.2	6.1	6.0	5.8	5.7	5.6	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0

表 五　臺灣歷年肥料和稻穀價格關係或肥料換穀比例表

單位：和每噸肥料同值的蓬萊種稻穀噸數或
肥料每噸交換蓬萊種稻穀噸數

	日治時期價格 (1930—1939 十年平均)註1	美援肥料配銷辦法 (1949年)	省政府現行換穀辦法 註 3	臺北市時價
硫酸銨 (含N20%)	0.905	1.5	1.0	0.965 註 4.5
過磷酸鈣 (含$P_2O_5$19.2%)	0.407	0.5 註2	0.4 註2	0.690 註 2.4.5
硫酸鉀 (含K_2O48%)	1.39	—	—	1.28 註 4.6

註：1 見參考文獻 (4)，三種肥料平均交換蓬萊種糙米比例爲 0.69, 0.31 和 1.06；蓬萊種稻穀折算爲糙米以 76.2% 計。

2 過磷酸鈣含 P_2O_5 18%。

3 見民國39年6月28日臺北市新生報和農建新聞第七號。

4 見民國39年8月5日臺北市新生報，蓬萊糙米甍售價每臺斤新臺幣0.53元，折合每公噸883元。

5 北韓產硫酸銨每公噸市價約爲新臺幣 650元；
過磷酸鈣每公噸市價新臺幣 465 元；民國39年8月5日價。

6 硫酸鉀以含 K_2O 50%計算；美貨每公噸售價估計約合85美元，見參考文獻(3)第203頁；民國39月8月5日自由美滙價以新臺幣10元計，折合新臺幣860元。

表 六　根據肥料價格求得之可施肥料水稻田百分比

期作	肥料	時期	目標：收回肥料成本 臨界的增產值	每公頃要素用量 40公斤 可施肥料水稻田百分比	每公頃要素用量 80公斤 可施肥料水稻田百分比	目標：博取合理利潤 合理的增產值	每公頃要素用量 40公斤 可施肥料水稻田百分比	每公頃要素用量 80公斤 可施肥料水稻田百分比
第一期作	硫酸銨	日治時期價格	4.5	82.0	84.5	9.0	63.0	65.5
		美援肥料配銷辦法	7.5	70.0	72.5	15.0	32.5	25.5
		省政府現行辦法	5.0	80.0	83.0	10.0	58.0	60.0
		臺北市時價	4.9	80.5	83.5	9.8	59.0	61.5
	過磷酸鈣	日治時期價格	2.1	58.0	45.5	4.2	42.5	27.0
		美援肥料配銷辦法	2.7	54.0	39.0	5.4	33.0	20.0
		省政府現行辦法	2.2	57.5	44.5	4.4	41.0	25.5
		臺北市時價	3.8	45.5	29.5	7.6	22.0	12.0
	硫酸鉀	日治時期價格	2.95	44.5	29.5	5.9	25.0	11.0
		臺北市時價	2.6	47.0	33.0	5.2	28.5	14.5
第二期作	硫酸銨	日治時期價格	4.5	72.0	70.5	9.0	39.5	30.0
		美援肥料配銷辦法	7.5	51.0	42.0	15.0	10.5	5.0
		省政府現行辦法	5.0	69.0	66.0	10.0	32.0	22.5
		臺北市時價	4.9	69.5	67.0	9.8	33.5	24.0
	過磷酸鈣	日治時期價格	2.1	53.5	51.5	4.2	33.0	20.0
		美援肥料配銷辦法	2.7	48.0	39.5	5.4	23.5	13.5
		省政府現行辦法	2.2	52.5	50.0	4.4	31.0	18.5
		臺北市時價	3.8	36.5	22.5	7.6	13.5	7.0
	硫酸鉀	日治時期價格	2.95	41.5	30.0	5.9	20.0	11.0
		臺北市時價	2.6	45.0	36.0	5.2	24.0	13.5

從表六所列數字，假定試驗結果可代表全省水稻田一般情形，蓬萊種稻穀又可代表全省稻穀一般習性，可得簡要結論如下：

1. 根據省政府現行換穀辦法或臺北市時價，第一期作每公頃施 N40或80公斤時，大約有百分之60的水稻田的稻穀增產量等於或大於肥料成本的 2 倍；根據日治時期價格，百分比稍大；根據民國39年美援肥料配銷辦法，則此百分比數字僅約30而已。第二期作數字比較的低得多；每公頃用 N40公斤時，根據省政府現行換穀辦法或臺北市時價，僅約有百分之33的水稻田可得此預期的合理增產值。

2. 第一期作每公頃施用 P_2O_5 40公斤時，可獲得合理增產利益的水稻田百分比比用80公斤時大得多，第一期作數字比第二期作數字亦較大，根據省政府現行換穀辦法，第一期作每公頃用 P_2O_5 40 公斤時，可獲得合理增產利益的水稻田僅約百分之40而已。

3. 第一、二期作每公頃施用 K_2O 40 公斤時，可獲得合理增產利益水稻田僅有百分之 20 至 28.5。

4. 無論根據日治時期價格或臺北市時價，對臺灣水稻田稻作從施肥增產利益言，硫酸鉀價格皆嫌太高；根據日治時期價格或省政府現行肥料換穀辦法，過磷酸鈣價格亦嫌稍高；但硫酸銨

價格，除民國38年美援硫酸銨換穀太多外，皆尚合理。

例二

問：水稻田第一期作每公頃普遍配用 N 40公斤和 P_2O_5 20公斤，求硫酸銨和過磷酸鈣合理換穀比例。

解：假定：試驗結果可代表全省水稻田一般情形，蓬萊種稻穀又可代表全省稻穀一般耆性。

從圖三： R=40， P_N=50%， 求得 Y=11.5；

從圖五： Y=11.5/2， C=20， X=5， 求得 K=1.15。

答一： 對百分之50的水稻田言，硫酸銨合理換穀比例爲 1.15。

又從圖三： 延長 P_P=50%曲線，使與 R=20 水平直線相交，求得 Y=5.0；

從圖五： Y=5.0/2， C=20， X=5， 求得 K=0.5。

答二： 對百分之50的水稻田言，含 P_2O_5 百分之20的過磷酸鈣合理換穀比例爲 0.5。

例三

問：依照省政府現行肥料換穀辦法，即每公噸含 N 20%硫酸銨換蓬萊種稻穀1.0公噸，每公噸含 P_2O_5 18%過磷酸鈣換0.4公噸；含 K_2O 50%硫酸鉀市價折算爲換穀比例以1.28計（見表五）；假定農家施肥增產應爲肥料成本的二倍；在增產量等於或大於肥料成本二倍的地區，每公頃施 N40公斤，P_2O_5 20公斤，K_2O 20公斤，其他地區暫不施肥，求全省第一、二期稻作化學肥料需要量。

解：從表六可見第一期作每公頃可施 N40公斤水稻田共約 58.0%，第二期作共約 32.0%。

從同表可見過磷酸鈣和硫酸鉀的合理增產值爲 4.4和 5.2。

從圖三和圖四，延長各P曲線，由 Y=4.4 和 Y=5.2 二垂直線與 R=20 水平直線交點，可求得：

1. 每公噸可施 P_2O_5 20公斤水稻田第一期作約53%，第二期作約35%；
2. 每公頃可施 K_2O 20公斤水稻田，第一期作約40%，第二期作約31%。

假定： 1 蓬萊種和在來種施肥增產效應大約相等。

2 水稻和陸稻施肥增產效應大約相等。

3 上述118處試驗結果可代表全省稻田實際情形。

可估計全省稻作所需化學肥料數量(表八)。

答： 合計共需	N	11,640 公噸折合含	N 20%	硫酸銨	58,200公噸
	P_2O_5	5,780 公噸折合含	P_2O_5 20%	過磷酸鈣	28,900公噸
	K_2O	4,720 公噸折合含	K_2O 50%	硫酸鉀	9,440公噸
				共計	96,540公噸

如僅以收回成本爲施肥目標，則第一、二期作共可用 N (9,200+10,800=) 20,000 公噸，折合含 N 20% 硫酸銨 100,000公噸；另可施用含 P_2O_5 20%過磷酸鈣 38,200公噸，含 K_2O 50%硫酸鉀13,980公噸，共計152,180公噸。

表七　臺灣稻作化學肥料需要量估計

稻種植面積* (公頃)	要素	可施肥料面積 佔總面積百分比	可施肥料面積 公頃約數	可施肥料要素數量 每公頃用量(公斤)	可施肥料要素數量 總需要量** (公噸)
第一期作					
287,395	N	58	166,000	40	6,640
287,395	P_2O_5	53	152,000	20	3,040
287,395	K_2O	40	115,000	20	2,300
第二期作					
390,162	N	32	125,000	40	5,000
390,162	P_2O_5	35	137,000	20	2,740
390,162	K_2O	31	121,000	20	2,420

共需　N　11,640　公噸
　　　P_2O_5　5,780　公噸
　　　K_2O　4,720　公噸

** 如僅以收回成本爲施肥目標，第一、二期作可施三要素面積百分比如下：

	N %	P_2O_5 %	K_2O %
第一期作	80	61	58
第二期作	69	53	47

共需　N (9,200+10,800=) 20,000公噸；　P_2O_5 (3,500+4,140=) 7,640公噸；
K_2O (3,330+ 3,660=) 6,990公噸。

* 爲1947年數字，見臺灣糧食統計要覽（民國三十七年版）

V 摘　　要

1. 本文以圖解方式分析臺灣水稻田肥料要素施用率與稻穀施肥增產值及可得各級增產值水稻田百分比的關係，製成有關曲線圖4幅，並另製一圖說明肥料換穀比例與肥料要素含量及肥料要素臨界增產值的關係。

2. 從圖表分析得知臺灣各地水稻田施肥效應差異很大，施用肥料要素有減低稻穀產量可能，此可能性施N時最小，施 P_2O_5 或 K_2O 時較大。

3. 第一期作N的增產效應最大， P_2O_5 的較小， K_2O 的更小；第二期作增產效應亦以N爲最大，但不及第一期作時， P_2O_5 和 K_2O 的效應十分接近，然皆不及第一期作 P_2O_5 效應。

4. 文中五圖可以配合應用；可用以估計在若干已知條件之下，什麼是合理的肥料要素施用率？有若干稻田可以施肥？肥料換穀比例多少才算合理？全省稻田一共需要多少化學肥料？除此以外，尙可用以解答某種情形之下其他未知數值。

參　考　文　獻

(1) 粟和才、陳華癸： 地力之測定(二)中央農業實驗所雜刊第十二號(民國三十四年三月)

(2) 張守敬、曾憲鼎、步毓昇： 臺灣省水稻三要素適量試驗結果之檢討，臺灣省農業試驗所彙報第七號（民國三十七年九月）

(3) 中國肥料工業建設芻議，臺灣肥料有限公司叢刊第四種（民國三十九年六月）

(4) 臺灣肥料手册，臺灣肥料有限公司叢刊第三種（編印中）

(5) 黃達河：中國化學肥料需要量之估計（未刊稿）

(6) Collings, G.H.: Commercial Fertilizers, 1947

Graphical Studies of Rice-Fertilizer-Yield Relations in Taiwan

T. H. Huang

Technical Department

Taiwan Fertilizer Company

1. In light of the results of rice fertilizer experiments in Taiwan, graphical studies ars made of the response of rice to added plant food at different levels of plant food addition and also the relation of fertilizer-rice barter ratio to fertilizer grade and "critical" yield increment of rice. The later term is defined as the cost of each kg. of plant food, expressed as number of kg. of hulled rice.
2. The experiments were carried out in the period 1930-1942 in 118 localities distributed throughout the entire Island. The time of experimentation varied from one to four years. In all the experiments, the farming practice of the local farmers was followed closely. Fertilizers used were ammonium sulfate, calcium superphosphate and potassium sulfate. Rates of plant food addition studied, in kg. per hectare, were 40, 80, 120 and 160 for N and 40, 80 and 120 for P_2O_5 and K_2O. Rice response to one of these essential elements was studied, while 80 kg, per hectare of each of the other two elements had been added.
3. Available data are recalculated to show the response of rice to added plant food, expressed as increase of hulled rice in kg. per kg. of N, P_2O_5 or K_2O added. Curves are plotted for different rates of plant food application to show the percentages of localities investigated (data of which are available) giving various levels of minimum yield increment of hulled rice. These curves are replotted to show the relation between the rate of plant food application and the level of minimum yield increment, for different percentages of the localities studied (data available), which vary in steps of 10%.
4. These curves show that there is a significant difference in rice response to added plant food between the localities studied. The curves also show that plant food addition might bring about decrease in yield of rice; such probability is least with N, but comparatively higher with P_2O_5 and K_2O. For the first rice crop, N gives the highest response, that of P_2O_5 comes next, and that of K_2O is the lowest. For the second rice crop, N still gives the highest response, but not as high as that for the first rice crop; responses of P_2O_5 and K_2O are close to each other, but less than that of P_2O_5 for the first rice crop.
5. The "critical" yield increments of hulled rice are plotted vs. 100 times the reciprocals of fertilizer grades (% N, P_2O_5 or K_2O) for various fertilizer-hulled rice barter ratios (or price of 1 ton fertilizer expressed as tons of hulled rice). A set of straight lines results.
6. With the help of the five diagrams presented, it is feasible to estimate that under certain known conditions:
   (1). What should be the rates of plant food application for the first and second rice crops?
   (2). How much rice fields might be fertilized?
   (3). What should be the correct fertilizer-hulled rice barter ratio?
   (4). How much fertilizers ars needed for the first and second rice crops?